

Методи розрахунку еволюції напружено-деформованого стану обладнання атомних електростанцій з урахуванням зон руйнування від впливу сейсмічних навантажень

Методы расчета эволюции напряженно-деформированного состояния оборудования атомных электростанций с учетом зон разрушения от действия сейсмической нагрузки

Methods of calculating evolution of the stress-strain state of the equipment of nuclear power plants taking into account the destruction of areas of action of seismic loads

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0113U000685, НТУУ «КПІ»-2611-ф.**
- 2. Науковий керівник -** д.т.н., проф. Гондлях О.В., Гондлях А.В., Gondliakh Oleksandr V.
- 3. Суть розробки, основні результати.**

(укр.)

Розроблено ітераційно-аналітичну теорію просторових багатошарових конструкцій з урахуванням можливого руйнування матеріалу шарів оболонки. Створено математичну модель розповсюдження тріщин в конструкціях АЕС з урахуванням основних параметрів сейсмічного навантаження захисних оболонок та обладнання АЕС. Отримано геометрично та фізично нелінійні рівняння. Розроблено, програмно реалізовано і апробовано на ряді контрольно-тестових задач засновану на МСЕ алгоритми дослідження процесів розповсюдження зон руйнування в захисних оболонках та тріщин в обладнанні АЕС за умов сейсмічного навантаження з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності. Розроблено новий багатошаровий скінчений елемент для чисельної реалізації дослідження еволюції фізично нелінійних процесів і руйнування в багатошарових просторових системах з урахуванням розшарування на базі ітераційно-аналітичної теорії оболонок. Розроблено кроково-ітераційний алгоритм послідовних навантажень для вирішення фізично і геометрично нелінійних задач з урахуванням тріщиноутворення, оболонок та обладнання АЕС при динамічному навантаженні. Встановлено, що за параметрами збіжності розроблений елемент перевищує світові аналоги, а розроблені алгоритми не поступаються світовим аналогам. Розроблено систему інформаційної підтримки життєвого циклу захисних оболонок та обладнання АЕС та досліджено еволюцію зміни напружено-деформованого стану захисної оболонки та обладнання АЕС за умов сейсмічного навантаження. Продемонстровано результати застосування теоретичних положень ітераційно-аналітичної теорії при розробці автоматизованих систем безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу об'єктів енергетичної промисловості, що дозволяє не лише виконувати моніторинг обладнання в процесі його експлуатації, але й прогнозувати сценарії можливого розвитку зон руйнування при виникненні нештатних або аварійних ситуацій.

(рос.)

Разработана итерационно-аналитическая теория пространственных многослойных конструкций с учетом возможного разрушения материала слоев оболочек. Создана математическая модель распространения трещин в конструкциях АЭС с учетом основных параметров сейсмического нагружения защитных оболочек и оборудования АЭС. Получено геометрически и физически нелинейные уравнения. Разработаны, программно реализованы и апробированы на ряде контрольно-тестовых задач алгоритмы исследования процессов распространения зон разрушения в защитных оболочках АЭС и трещин в оборудовании АЭС в условиях сейсмической нагрузки с учетом физической и геометрической нелинейности. Разработан новый многослойный конечный элемент для численной реализации исследования эволюции физически нелинейных процессов и разрушения в многослойных пространственных системах с учетом расслоения на базе итерационно-аналитической теории оболочек. Разработан шагово-итерационный алгоритм последовательных нагружений для решения физически и геометрически нелинейных задач с учетом трещинообразования в защитных оболочках и оборудовании АЭС при

динамической нагрузке. Установлено, что по параметрам сходимости разработанный конечный элемент превышает мировые аналоги, а разработанные алгоритмы не уступают мировым аналогам. Разработана система информационной поддержки жизненного цикла защитных оболочек и оборудования АЭС и исследованы эволюционные процессы изменения напряженно-деформированного состояния защитной оболочки и оборудования АЭС в условиях действия сейсмического нагружения. Продемонстрированы результаты применения теоретических положений итерационно-аналитической теории для разработки систем непрерывной информационной поддержки жизненного цикла объектов энергетической промышленности, которые позволяют не только выполнять мониторинг оборудования в процессе его эксплуатации, но также прогнозировать сценарии возможного развития зон разрушения при возникновении нештатных или аварийных ситуаций.

(англ.)

Designed iterative-analytical theory of spatial multi-layer constructions in view of the possible destruction of the material layers of shells. A mathematical model of crack propagation in the construction of nuclear power plants, taking into account the basic parameters of the seismic loading containments and NPP equipment. An geometrically and physically nonlinear equations. Developed, implemented and tested the software on a number of control and test problems algorithms study the propagation of fracture zones in the protective shells of nuclear power plants and nuclear power plant equipment in the cracks under seismic loading, taking into account the physical and geometric nonlinearity. The new multi-layer finite element numerical implementation for the study of the evolution of nonlinear physical processes and failure in structural systems based on spatial separation based on iterative-analytical theory of shells. Designed stepwise-iterative algorithm for solving the successive loading physically and geometrically nonlinear problems in view of cracking in the protective shells and nuclear equipment under dynamic loading. It was found that the parameters of convergence developed finite element exceeds the world analogues, and developed algorithms are not inferior to the world analogues. A system of information support of the life cycle of protective membranes and nuclear power plant equipment and studied evolutionary processes of stress-strain state of the containment and nuclear power plant equipment in conditions of seismic loading. Shows the results of application of theoretical positions iterative-analytical theory for the design of continuous information support life cycle energy industry facilities that allow not only to monitor the equipment during its operation, but also to predict the scenarios of possible development of fracture zones in the event of abnormal or emergency situations.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Григорович О.О. Валок прокатної машини. Патент на корисну модель №, 94086. Патент опубліковано 27.10.2014, бюл. № 20/2014. Номер заявки U2014 05698.
2. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Товкач О.М. Барабанний млин. Патент на корисну модель №88496, Патент опубліковано 25.03.2014, бюл. № 6/2014. Номер заявки U2013 07073.
3. Щербина В.Ю., Васильченко Г.М., Григорович О.О. Валок прокатної машини. Патент на корисну модель №, 97676. Патент опубліковано 25.03.2015, бюл. № 6/2015. Номер заявки U2014 11993.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Розробка відповідає світовому рівню. Не поступаються світовим аналогам, а за параметрами збіжності та точністю визначення компонент напружено-деформованого стану багатошарових конструкцій та можливістю детального опису процесів їх нелінійного деформування та руйнування на базі розробленого скінченного елемента перевищує світові аналоги.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Отримані результати можуть бути використані в науково-дослідних та проектних інститутах і підприємствах для підвищення ефективності процесів проектування конструкцій та обладнання АЕС, а також при створенні нових комплексних систем моніторингу за процесом зародження та розповсюдження дефектів в конструкціях технологічного обладнання з урахуванням експлуатаційних факторів для своєчасного запобігання техногенним аварійним ситуаціям.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Можливі споживачі розробки - Державний науково-технічний центру по ядерній та радіаційній безпеці Державного комітету ядерного регулювання України (відділ довгострокової експлуатації споруд АЕС), Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», Інститут ядерних досліджень НАН України, АЕС України та ін.

8. Стан готовності розробки.

Програмне забезпечення, як результат даної роботи, готове до впровадження на підприємствах середнього, важкого та енергетичного машинобудування, нафто-газового комплексу, авіа та суднобудування для автоматизування моніторингу та розрахунків на міцність відповідальних елементів устаткування.

Теоретичні положення ітераційно-аналітичної теорії можуть бути застосовані при розробці нових автоматизованих систем безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу об'єктів енергетичної промисловості України.

9. Існуючі результати впровадження.

Фундаментальні результати проекту використані в нових розділах навчальних курсів: «Сучасні методи розрахунку машин та апаратів» (розділ «Уточнені методи розрахунку багатошарових конструкцій»), «Обладнання хімічних, полімерних та силікатних виробництв» (розділ «Розрахунок біметалевих судин»), «Інформаційне забезпечення проектування» (розділ «Системи безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу об'єктів хімічної промисловості»).

За матеріалами роботи Підготовлено до захисту 1 кандидатську та 1 докторську дисертації, видано 1 монографію з грифом НТУУ «КПІ», опубліковано 15 статей (з них 6 в журналах, що входять до наукометричних БД), зроблено 17 доповідей на конференціях (7 на міжнародних). Отримано 1 патент. Захищено 2-і магістерські роботи (студент Нікітін Р.Є. «Несуча спроможність захисних оболонок АЕС за умов сейсмічних навантажень», керівник – Гондляр О.В. та студент Онопрієнко В.Ю. «Зародження та розповсюдження тріщин в біметалевих конструкціях», керівник – Гондляр О.В.). Захищено 2-і дипломні роботи спеціаліста.

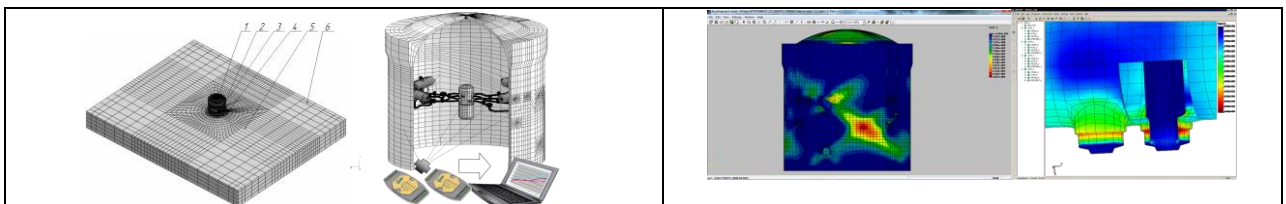
10. Форма участі інвестора - частка в проекті 100% .

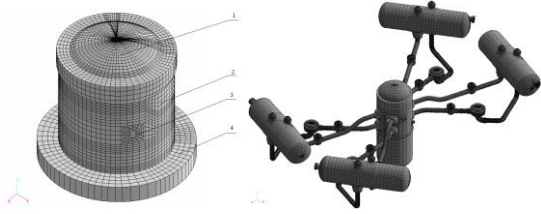
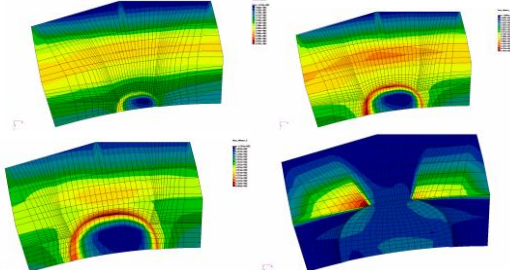
11. Обсяг інвестицій - 350 тис. доларів США.

12. Мета інвестицій – впровадження розробки в практику здійснення моніторингу за роботою захисних оболонок та обладнання АЕС України. Збір вихідної інформації та налагодка системи інформаційної підтримки життєвого циклу обладнання та захисних оболонок АЕС до реальних умов роботи конкретної АЕС. Запуск системи. Навчання персоналу по роботі з системою.

13. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ «КПІ», інженерно-хімічний факультет, кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, 204-85-46, <http://ihf.kpi.ua>



| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>Интерфейс – автоматизованої системи безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу захисної оболонки та обладнання АЕС</p> | <p>Результати моніторингу за напруженнями у захисній оболонці АЕС при розриві армоканату та розповсюдженням тріщин в колекторі парогенератора в процесі землетрусу</p> |

14. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Гондлях О.В., Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Чемерис А.О. САПР. Система інформаційної підтримки життєвого циклу захисних оболонок та обладнання АЕС. // НТУУ «ХПІ», 2015. – 190с. – Бібліогр. : с. 182-187.
2. Gondliakh O. Modeling in ABAQUS destruction and delamination of composite structures based on the refinement USER FE // SIMULIA Journal. - 2015, Moscow. p. 34-41.
3. Gondliakh O., Onoprienko V, Chemeris A. Mathematical modeling of crack propagation in the case of the steam generator // International scientific conference. 19 – 20 November, 2015, Gabrovo, Bulgaria, pp. 1015-1021.
4. Gondliakh O.V., Chemeris A.O, Onoprienko V.Yu. Numerical analysis of jerry can strength under static and dynamic loads. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, [S.l.], v. 3, №. 7(75), p. 23-29, jun. 2015. ISSN 1729-4061.
5. Гондлях О. В., Оноприєнко В. Ю., Никитин Р. Е. Еволюція напружено деформованого стану обладнання та захисних конструкцій АЕС з урахуванням зон руйнування від впливу сейсмічних навантажень // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ» – 2014р. - №26(1069). С. 45-52.
6. Гондлях О. В., А. В. Копиленко, А. Н. Тимонін та ін. Система безперервної інформаційної підтримки обладнання харчової і хімічної промисловості // Наукові праці НУХТ. – 2014. – Т. 20, № 5. – С. 152-160.
7. Гондлях О. В. Оноприєнко В.Ю. Математичне моделювання напружено-деформованого стану захисних оболонок АЕС, які знаходяться в умовах сейсмічного навантаження // Науково-практична конференція студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоєфективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: Січкар, 2014. С. 29-34.
8. Гондлях О.В., Тимонін О.М., Чемерис А.О., Копиленко А.В. Чисельний аналіз міцності каністр за умов статичного та динамічного навантаження. // Вісник Вінницького політехнічного інституту . – 2015р. - №6. С. 45-52. ISSN 1997-9266.
9. Gondliakh O., Onoprienko V., Nikitin R. Numerical Simulation of crack propagation in bimetallic spatial structures / // Technology audit and production reserves. Vol 3, No 1(17) 2014, pp. 23-27.
10. Гондлях О. В. Итерационно-аналитический USER_FE с адаптивной аппроксимацией перемещений для моделирования в среде ABAQUS процессов распространения трещин // «Инженерные системы - 2014». – М.: МАКС Пресс, 2014. С. 142-149.
11. Gondliakh O. Modeling in ABAQUS destruction and delamination of composite structures based on the refinement USER FE // SIMULIA Journal. - 2014, Moscow. p. 34-41.
12. Гондлях О.В. Моделирование в среде ABAQUS процессов разрушения и расслоения композитных пространственных конструкций на основе уточненного многослойного восьмиузлового КЭ пользователя // «Инженерные системы - 2013». – М.: МАКС Пресс, 2013. С. 153-164.

13. Гондлях А.В. Моделирование в среде ABAQUS процессов разрушения и расслоения композитных пространственных конструкций на основе уточненного многослойного восьмиузлового КЭ пользователя. SIMULIA regional User meeting Russia 2013. Труды Международного форума «ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ 2013», 15-16 апреля 2014 г., Москва. С.23-32.
14. Gondliakh A.V., Onoprienko V., Nikitin R. Mathematical modeling and analysis of strength of spatial structures of chemical and energy industry at seismic impact - International scientific conference. 22 – 23 November, 2013, Gabrovo, Bulgaria, pp. 1127-1131.
15. Gondliakh A.V. Modeling in Abaqus fracture and delamination of composite structures based on refined multi-layer user finite element - International scientific conference. 22 – 23 november, 2013, Gabrovo, Bulgaria, pp. 1142-1147.
16. Scherbina V. Yu. About the possible use of shale gas in rotary kilns for cement production International Scientific Conference “UNITECH” GABROVO’13, 22 – 23 November 2013, Proceedings, VOLUME 2, p.135-138.
17. Гондлях О. В., Онопрієнко В. Ю., Чемерис А.О. Чисельний аналіз міцності літрових каністр за умов статичного та динамічного навантаження // Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та науковців «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – К.: Січкар, 2015. С. 11-14.
18. Гондлях О. В., Онопрієнко В. Ю. Чисельний аналіз міцності каністр з поліетилена високої щільності. // Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп’ютерного конструювання матеріалів. Восьма міжнародна конференція студентів та аспірантів. Збірка тез доповідей. 23 – 24 квітня 2015 р., Київ, Україна. – К. – 156 с.
19. Гондлях О. В., Чемерис А.О., Онопрієнко В. Ю. Чисельний аналіз міцності літрових каністр за умов статичного та динамічного навантаження. // Збірник доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 126 с.
20. Щербина В.Ю. Особливості використання сланцевого газу в обертових печах промисловості будматеріалів / Наукові вісті НТУУ "КПІ" №1, 2014, с.29-34.
21. Гондлях О. В. Нікітін Р.Є.Чисельне моделювання власних коливань біметалевих конструкцій // Науково-практична конференція студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоєфективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: Січкар, 2014. С. 24-28.
22. Гондлях О. В. Итерационно-аналитический USER_FE с адаптивной аппроксимацией перемещений для моделирования в среде abaqus процессов распространения трещин - SIMULIA regional User meeting Russia 2014. 7-8 апреля 2014 г., Москва. С.52.
23. Гондлях О. В., Нікітін Р. Є. Математична модель розповсюдження тріщини в біметалевих просторових конструкціях з урахуванням змін в часі умов навантаження - Збірник доповідей III-ї всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоєфективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ», 2014. С.53-55.
24. Гондлях О. В., Онопрієнко В. Ю. Еволюція напружено-деформованого стану захисної оболонки АЕС з урахуванням зон руйнування від впливу сейсмічних навантажень. - Збірник доповідей III-ї всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоєфективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ», 2014. С.55-57.
25. Артеменко К.С, Щербина В.Ю. Дослідження напружено-деформованого стану рекуператора обертової печі 4.0х150 м. // Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоєфективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ», 2014. Ст. 62-64.

26. Букач А.А. Щербина В.Ю. Моделювання роботи млина «ГІДРОФОЛ» з модернізацією фільтрів // Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоефективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ», 2014. Ст. 65-67.
27. Осипенко О.Ю., Щербина В.Ю. Модернізація конструктивних елементів трубного млина 3х14 м // Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоефективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ», 2014. Ст. 67-69.
28. Щербина В.Ю., Стасюк В.В. Розрахунок температурних полів і термомеханічних напружень у корпусі обертового теплового апарата печі 5х185 м // Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоефективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ», 2014. Ст. 84-86.
29. Gondliakh O., Kopylenko A, Timonin A., Onoprienko V., Nikitin R. The system of continuous information support equipment for food and chemical industry / // Second north and east european congress on food, 26 - 29 may 2013. – K. : NUFT, 2013. - P. 255.
30. Gondliakh A.V. Modeling in Abaqus fracture and delamination of composite structures based on refined multilayer user finite element - International scientific conference. 22 – 23 november, 2013, Gabrovo, Bulgaria, pp. 1142-1147.
31. Gondliakh A.V., Onoprienko V., Chemeris A.O. Nikitin R.E. Mathematical modeling and analysis of strength of spatial structures of chemical and energy industry at seismic impact - International scientific conference. 22 – 23 November, 2013, Gabrovo, Bulgaria, pp. 1127-1131.
32. Гондлях О. В. Моделирование в среде ABAQUS процессов разрушения и расслоения композитных пространственных конструкций на основе уточненного многослойного восьмиузлового КЭ пользователя - SIMULIA regional User meeting Russia 2013. 15-16 апреля 2013 г., Москва. С.34.
33. Гондлях О. В. Онопрієнко В. Ю. Математичне моделювання напружено-деформованого стану захисних оболонок АЕС, які знаходяться в умовах сейсмічного навантаження - Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоефективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: Січкап, 2013. С 6-8.
34. Гондлях О. В. Нікітін Р. Є. Чисельне моделювання власних коливань біметалевих ректифікаційних колон // Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоефективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: Січкап, 2013. С 8-9.
35. Онопрієнко В. Ю. Математичне моделювання напружено-деформованого стану захисних оболонок АЕС, які знаходяться в умовах сейсмічного навантаження. // Збірник доповідей наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Київський Національний Університет Будівництва та Архітектури. 12-14 листопада 2013 року, м. Київ.